

3-26-01 0400 #5

P/1912-20

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Takeo NOZAKI

Date: March 21, 2001

Serial No: 09/735,840

Group Art Unit:

Filed: December 13, 2000

For: PATTERN INSPECTION METHOD AND PATTERN INSPECTION DEVICE

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

In accordance with 35 U.S.C. §119, Applicant confirms the prior request for priority under the International Convention and submits herewith the following document in support of the claim:

Certified Japanese Application No.
11-357273 Filed December 16, 1999

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the U.S. Postal Service as first class mail in an envelope addressed to Commissioner of Patents and Trademarks, Washington, D.C. 20231 on March 21, 2001 :

Respectfully submitted,

Steven I. Weisburd

Name of applicant, assignee or
Registered Representative

Signature
March 21, 2001
Date of Signature

Steven I. Weisburd
Registration No.: 27,409
OSTROLENK, FABER, GERB & SOFFEN, LLP
1180 Avenue of the Americas
New York, New York 10036-8403
Telephone: (212) 382-0700

SIW:dr1



P/1712-200

日本国特許庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

1999年12月16日

出願番号

Application Number:

平成11年特許願第357273号

出願人

Applicant (s):

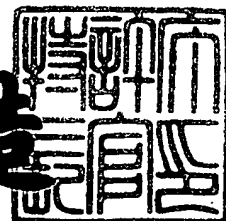
日本電気株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2000年12月 1日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3098018

【書類名】 特許願

【整理番号】 35306370

【提出日】 平成11年12月16日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 15/62

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

 【氏名】 野崎 岳夫

【特許出願人】

 【識別番号】 000004237

 【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100064621

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 山川 政樹

 【電話番号】 03-3580-0961

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 006194

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9718363

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 参照画像作成方法、パターン検査装置及び参照画像作成プログラムを記録した記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、前記基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光して、この受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成し、この画像と前記設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように前記参照データを修正して参照画像を生成し、前記被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出するパターン検査装置において、

レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と前記被測定パターンの画像との畳み込み演算により、パターンエッジ位置に対応する階調値を示すエッジ境界条件を求め、このエッジ境界条件に基づいて前記被測定パターンのエッジ位置をサブ画素の単位で検出することを特徴とする参照画像作成方法。

【請求項 2】 設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、前記基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光して、この受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成し、この画像と前記設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように前記参照データを修正して参照画像を生成し、前記被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出するパターン検査装置において、

画素をマトリクス状に分割するサブ画素を各画素毎に設け、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とすることにより、前記被測定パターンのパターン幅とこれに対応する位置の参照データのパターン幅をそれぞれ算出することを特徴とする参照画像作成方法。

【請求項 3】 請求項 2 記載の参照画像作成方法において、
前記被測定パターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階

調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された被測定パターンのパターン幅として、前記被測定パターンのパターン幅を算出すると共に、前記参照データのパターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された参照データのパターン幅として、前記参照データのパターン幅を算出し、前記被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅との差から前記参照データのパターン修正幅を算出することを特徴とする参照画像作成方法。

【請求項 4】 設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、前記基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光する走査手段と、

前記走査手段の受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成する光電画像処理手段と、

前記被検査パターンの画像と前記設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように前記参照データを修正して参照画像を生成する参照画像生成手段と、

前記被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出する比較手段とを備えたパターン検査装置において、

レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と前記被測定パターンの画像との畳み込み演算により、パターンエッジ位置に対応する階調値を示すエッジ境界条件を求め、このエッジ境界条件に基づいて被測定パターンのエッジ位置をサブ画素の単位で検出するエッジ位置検出手段を有することを特徴とするパターン検査装置。

【請求項 5】 設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、前記基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光する走査手段と、

前記走査手段の受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成する光電画像処理手段と、

前記被検査パターンの画像と前記設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように前記参照データを修正して参照画像を生成する参照画像

生成手段と、

前記被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出する比較手段とを備えたパターン検査装置において、

画素をマトリクス状に分割するサブ画素を各画素毎に設け、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とすることにより、前記被測定パターンのパターン幅とこれに対応する位置の参照データのパターン幅をそれぞれ算出するパターン幅算出手段を有することを特徴とするパターン検査装置。

【請求項 6】 請求項 5 記載のパターン検査装置において、

前記パターン幅算出手段は、前記被測定パターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された被測定パターンのパターン幅として、前記被測定パターンのパターン幅を算出すると共に、前記参照データのパターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された参照データのパターン幅として、前記参照データのパターン幅を算出し、前記被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅との差から前記参照データのパターン修正幅を算出することを特徴とするパターン検査装置。

【請求項 7】 設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、前記基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光して、この受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成し、この画像と前記設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように前記参照データを修正して参照画像を生成し、前記被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出する参照画像作成プログラムを記録した記録媒体であって、

レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と前記被測定パターンの画像との畳み込み演算により、パターンエッジ位置に対応する階調値を示すエッジ境界条件を求め、このエッジ境界条件に基づいて前記被測定パターンのエッジ位置をサブ画素の単位で検出する手順をコンピュータに実行させるための参照画

像作成プログラムを記録した記録媒体。

【請求項 8】 設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、前記基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光して、この受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成し、この画像と前記設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように前記参照データを修正して参照画像を生成し、前記被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出する参照画像作成プログラムを記録した記録媒体であって、

画素をマトリクス状に分割するサブ画素を各画素毎に設け、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とすることにより、前記被測定パターンのパターン幅とこれに対応する位置の参照データのパターン幅をそれぞれ算出する手順をコンピュータに実行させるための参照画像作成プログラムを記録した記録媒体。

【請求項 9】 請求項 8 記載の参照画像作成プログラムを記録した記録媒体において、

前記被測定パターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された被測定パターンのパターン幅として、前記被測定パターンのパターン幅を算出すると共に、前記参照データのパターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された参照データのパターン幅として、前記参照データのパターン幅を算出し、前記被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅との差から前記参照データのパターン修正幅を算出する手順をコンピュータに実行させるための参照画像作成プログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、パターン検査装置に関し、特に設計データから D i e - T o - D a

t a B A S E 検査に用いる参照画像を作成する参照画像作成方法、パターン検査装置及び参照画像作成プログラムを記録した記録媒体に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

一般に、フォトリソ、レチクル、ウェーハ液晶などに形成された半導体集積回路などの微細パターンが、設計データから作成した理想的なパターンの寸法、形状に基づいて正確に描かれているか否かを、パターン検査装置により検査する必要がある。

【0003】

この種のパターン検査装置では、まず、矩形または台形の位置座標、および線分長で記述された設計データを、被検査パターンに相当する「0」、「1」の2値のビット列として表現し、所定分解能の画素幅に存在するビット列を積分することにより画素内の濃淡値を生成する。

【0004】

次に、被検査パターンをレーザービームで走査し、その透過光を受光素子上に結像させて得たパターン情報から、あるいは撮像系から得たパターン画像のエッジプロファイルから、所定の光学的点拡がり関数を作成し、この関数を用いるとともに、設計データの多階調データ（多値データ）との畳み込み演算を施すことにより、参照画像を得る。

【0005】

そして、光学系走査または撮像系入力により得られた被検査パターンの画像に同期して、設計データから得られた参照画像を読み込み、対応する画素位置で被検査パターンの画像と参照画像の不一致点を検出することによって被検査パターン上の欠陥検出（Die-To-Data BASE 検査）を行っている。

【0006】

被検査パターンの画像には、光学的条件や製造プロセスの影響などにより、設計理想値に比べて、線幅の太りや細りなどの寸法誤差が存在し、設計データから得られた参照画像との擬似的な誤差に起因して、欠陥とは判定しない疑似欠陥が生じやすい。

【0 0 0 7】

したがって、各検査領域での特徴量に応じて、適切なエッジ位置検出などの特徴抽出を行い、光学的点拡がり関数との畳み込み処理を行う前の設計データの多階調画像のパターン幅を被検査パターンの画像のエッジ位置に一致するように予め修正しておくことが必要となる。

【0 0 0 8】

従来の参照画像作成方法では、参照画像のパターン幅を修正する場合、被検査パターンの画像に適切なエッジ検出処理を行い、設計データのパターン修正幅を2値データ、ビット（画素）単位のまま修正するものとなっている。

この場合、設計ビットパターンから変更ビットパターンを作成し、実画像を2値化した被検査パターンのビットデータとの排他的論理和（E X - O R）をとることにより、参照画像側のパターンのリサイズを行う。

【0 0 0 9】

また、エッジ位置検出やコーナー認識などにより設計データから抽出されるエッジやコーナーに対して、所定のパターンエッジ角度（例えば、0, 45, 90, 135度）を有するエッジやコーナーを示すビット単位の修正テンプレートを用意しておく。

【0 0 1 0】

そして、そのエッジやコーナーに対応する実画像に最も近い修正テンプレートを選択して元の設計データを修正し、修正した設計データを再び多値化して参照画像を作成し、得られた参照画像と実画像との階調差を適切な欠陥アルゴリズムのしきい値で、欠陥か否かを判定することによって、欠陥の検出を行うものとなっている（例えば、特開平4-350776号公報など参照）。

【0 0 1 1】

また、従来、被検査パターンのエッジ位置を検出する方法としては、画像処理による方法が用いられ、この画像処理による方法は、濃度による方法、濃度の1次微分による方法、濃度の2次微分による方法に大別される（参考文献：野村由司彦他、”エッジ位置計測のサブピクセル化と誤差解析”、電子情報通信学会論文誌 D-11 vol. J73-D-11 No. 9 pp. 1458-14

6 7 1 9 9 0 年 9 月)。

【0 0 1 2】

濃度による方法は、1 次から 3 次までの濃度の積率について、原画像に最適當ではめできる仮想エッジパターンを求めて、エッジ位置を検出するものである。

濃度の 1 次微分による方法は、エッジをなす全ての画素の 1 次微分の重心をエッジ位置とするもの、ピーク近傍の連続する 3 画素の 1 次微分を放物線に当てはめ、得られた回帰曲線のピークをエッジ位置とするもの、濃度の 1 次微分を正規分布曲線に最小 2 乗回帰し、回帰曲線の極値の位置をエッジ位置とするものがある。

そして、濃度の 2 次微分による方法は、特殊なフィルタをかけて 2 次微分を求め、正負が転移する隣り合う 2 画素の 2 次微分を直線に内挿したときのゼロクロス位置をエッジ位置とするものである。

【0 0 1 3】

【発明が解決しようとする課題】

フォトマスク等の基材上に描かれた微細パターンにおいては、パターンエッジ部における黒画素レベルから白画素レベルへの階調値の遷移領域が 3 画素程度しかなく、エッジプロファイルがきわめて急峻である。このため、従来の画像処理によるエッジ位置検出方法では、画素単位あるいはサブ画素単位でのエッジ抽出アルゴリズムを用いても高度な計算が必要になるという問題点があり、さらにサブ画素単位のエッジ位置の特定に計算時間がかかるという問題点があった。

【0 0 1 4】

また、従来の参照画像作成方法では、装置系を含めたビームスポット強度に相当する光学的点拡がり関数とパターンエッジ位置との関係が明らかではなく、光学系によるエッジ計測位置と画像処理によるエッジ抽出位置が一致しないため、被検査パターンのパターン幅と参照データのパターン修正幅とを正確に求めることができないという問題点があった。

【0 0 1 5】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、被検査パターンのエッジ位置をサブ画素単位で従来よりも高速に検出することができる参照画像作成方

法、パターン検査装置及び参照画像作成プログラムを記録した記録媒体を提供することを目的とする。

また、本発明は、被検査パターンのパターン幅と参照データのパターン修正幅を正確に求めることができ、被検査パターンの画像に極めて近い参照画像を得ることができる参照画像作成方法、パターン検査装置及び参照画像作成プログラムを記録した記録媒体を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

本発明の参照画像作成方法は、設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光して、この受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成し、この画像と設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように参照データを修正して参照画像を生成し、被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出するパターン検査装置において、レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と被測定パターンの画像との畳み込み演算により、パターンエッジ位置に対応する階調値を示すエッジ境界条件を求め、このエッジ境界条件に基づいて被測定パターンのエッジ位置をサブ画素の単位で検出するようにしたものである。このように、本発明の参照画像作成方法では、レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と被測定パターンの画像との畳み込み演算により、エッジ境界条件を求める。そして、パターンエッジの探索時、このエッジ境界条件を用いることにより、被測定パターンのエッジ位置をサブ画素の単位で検出することができる。

【0017】

また、本発明の参照画像作成方法は、設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光して、この受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成し、この画像と設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように参照データを修正して参照画像を生成し、被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出するパターン検査

装置において、画素をマトリクス状に分割するサブ画素を各画素毎に設け、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とすることにより、被測定パターンのパターン幅とこれに対応する位置の参照データのパターン幅をそれぞれ算出するようにしたものである。このように、本発明の参照画像作成方法では、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出する。そして、パターン幅の算出時、前記階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とすることにより、被測定パターンのパターン幅とこれに対応する位置の参照データのパターン幅をサブ画素単位の精度で算出する。

また、本発明の参照画像作成方法の 1 構成例は、被測定パターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された被測定パターンのパターン幅として、被測定パターンのパターン幅を算出すると共に、参照データのパターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された参照データのパターン幅として、参照データのパターン幅を算出し、被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅との差から参照データのパターン修正幅を算出するようにしたものである。このように、本発明の参照画像作成方法では、被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅をそれぞれ算出した後、被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅との差から参照データのパターン修正幅（リサイズ幅）を算出する。

【 0 0 1 8 】

また、本発明のパターン検査装置は、設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光する走査手段（4）と、走査手段の受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成する光電画像処理手段（5）と、被検査パターンの画像と設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように参照データを修正して参照画像を生成する参照画像生成手段（3）と、被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出す

る比較手段（７）とを備え、レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と被測定パターンの画像との畳み込み演算により、パターンエッジ位置に対応する階調値を示すエッジ境界条件を求め、このエッジ境界条件に基づいて被測定パターンのエッジ位置をサブ画素の単位で検出するエッジ位置検出手段（３）を有するものである。本発明のパターン検査装置において、走査手段は、被検査パターンをレーザービームで走査して、基材を通過して得られる透過光を受光し、光電画像処理手段は、走査手段の受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成する。参照画像生成手段は、被検査パターンの画像と設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように参照データを修正して参照画像を生成し、比較手段は、被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出する。そして、エッジ位置検出手段は、レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と被測定パターンの画像との畳み込み演算により、エッジ境界条件を求める。さらに、エッジ位置検出手段は、パターンエッジの探索時、エッジ境界条件を用いることにより、被測定パターンのエッジ位置をサブ画素の単位で検出する。

【 0 0 1 9 】

また、本発明のパターン検査装置は、設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光する走査手段（４）と、走査手段の受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成する光電画像処理手段（５）と、被検査パターンの画像と設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように参照データを修正して参照画像を生成する参照画像生成手段（３）と、被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出する比較手段（７）とを備え、画素をマトリクス状に分割するサブ画素を各画素毎に設け、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とすることにより、被測定パターンのパターン幅とこれに対応する位置の参照データのパターン幅をそれぞれ算出するパターン幅算出手段（３）を有するものである。このように、パターン幅算出手段は、各画素内に展

開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出する。そして、パターン幅算出手段は、パターン幅の算出時、前記階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とすることにより、被測定パターンのパターン幅とこれに対応する位置の参照データのパターン幅をサブ画素単位の精度で算出する。

また、本発明のパターン検査装置の 1 構成例として、パターン幅算出手段は、被測定パターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された被測定パターンのパターン幅として、被測定パターンのパターン幅を算出すると共に、参照データのパターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された参照データのパターン幅として、参照データのパターン幅を算出し、被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅との差から参照データのパターン修正幅を算出するものである。このように、パターン幅算出手段は、被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅をそれぞれ算出した後、被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅との差から参照データのパターン修正幅（リサイズ幅）を算出する。

【 0 0 2 0 】

また、本発明の参照画像作成プログラムを記録した記録媒体は、設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光して、この受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成し、この画像と設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように参照データを修正して参照画像を生成し、被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出する手順をコンピュータに実行させるための参照画像作成プログラムを記録し、レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と被測定パターンの画像との畳み込み演算により、パターンエッジ位置に対応する階調値を示すエッジ境界条件を求め、このエッジ境界条件に基づいて被測定パターンのエッジ位置をサブ画素の単位で検出する手順をコンピュータに実行させるための参照画像作成プログラムを記録するものである。

【0021】

また、本発明の参照画像作成プログラムを記録した記録媒体は、設計データに基づいて基材上に形成された被検査パターンをレーザービームで走査し、基材を通過して得られる透過光を受光素子によって受光して、この受光素子で得られたパターン情報から被検査パターンの画像を生成し、この画像と設計データを画像化して得られる参照データの位置が一致するように参照データを修正して参照画像を生成し、被測定パターンの画像と参照画像とを比較して被検査パターンの欠陥を検出する手順をコンピュータに実行させるための参照画像作成プログラムを記録し、画素をマトリクス状に分割するサブ画素を各画素毎に設け、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とすることにより、被測定パターンのパターン幅とこれに対応する位置の参照データのパターン幅をそれぞれ算出する手順をコンピュータに実行させるための参照画像作成プログラムを記録するものである。

また、本発明の参照画像作成プログラムを記録した記録媒体の1構成例として、被測定パターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された被測定パターンのパターン幅として、被測定パターンのパターン幅を算出すると共に、参照データのパターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された参照データのパターン幅として、参照データのパターン幅を算出し、被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅との差から参照データのパターン修正幅を算出する手順をコンピュータに実行させるための参照画像作成プログラムを記録するものである。

【0022】

【発明の実施の形態】

[実施の形態の1]

次に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図1は本発明の第1の実施の形態となるパターン検査装置のブロック図、図2は図1のパターン検査装置の動作を示すフローチャート図である。

フォトマスク、レタイクル、ウェーハ－液晶などに形成された半導体集積回路などの微細パターンが、設計データから作成した理想的なパターンの寸法、形状に基づいて正確に描かれているか否かを、パターン検査装置により検査する必要がある。

【 0 0 2 3 】

この種のパターン検査装置では、まず、矩形または台形の位置座標、および線分長で記述された設計データを、被検査パターンに相当する「0」、「1」の2値のビット列として表現し、所定分解能の画素幅に存在するビット列を積分することにより画素内の濃淡値を生成する。

【 0 0 2 4 】

次に、被検査パターンをレーザービームで走査し、その透過光を受光素子上に結像させて得たパターン情報から、あるいは撮像系から得たパターン画像のエッジプロファイルから、所定の光学的点拡がり関数を作成し、この関数を用いるとともに、設計データの多階調データ（多値データ）との畳み込み演算を施すことにより、参照画像を得る。

【 0 0 2 5 】

そして、光学系走査または撮像系入力により得られた被検査パターンの画像に同期して、設計データから得られた参照画像を読み込み、対応する画素位置で被検査パターンの画像と参照画像の不一致点を検出することによって被検査パターン上の欠陥検出（Die－To－Data BASE 検査）を行っている。

【 0 0 2 6 】

被検査パターンの画像には、光学的条件や製造プロセスの影響などにより、設計理想値に比べて、線幅の太りや細りなどの寸法誤差が存在し、設計データから得られた参照画像との擬似的な誤差に起因して、欠陥とは判定しない疑似欠陥が生じやすい。

【 0 0 2 7 】

したがって、各検査領域での特徴量に応じて、適切なエッジ位置検出などの特徴抽出を行い、光学的点拡がり関数との畳み込み処理を行う前の設計データの多階調画像のパターン幅を被検査パターンの画像のエッジ位置に一致するように予

め修正しておくことが必要となる。

【0028】

本実施の形態のパターン検査装置は、検査を行う配線パターンすなわち被検査パターンをレーザービームでスキャンすることにより走査信号14を出力する光学的走査部4と、この走査信号14を多値階調の実画像15として変換出力する光電画像処理部5とを有している。

【0029】

また、パターン検査装置は、被検査パターンの図形寸法が定義された、MEBES (Manufacturing Electron Beam Exposure System) などのフォーマットで記述されている設計データ11を入力する設計データ入力部1と、この設計データ11を配線パターンに展開して多階調の参照データ12を作成する設計データ展開部2と、この参照データ12の各配線パターンを実画像15に近付けるための補正を行うことにより参照画像13を作成する参照画像生成部3と、光電画像処理部5で得られた実画像15と参照画像生成部3で得られた参照画像13とを格納するための画像メモリ6と、光学的走査により得られた被検査パターンの実画像15と設計データ11から作成された参照画像13とを比較することにより被検査パターンの検査を行うデータ比較部7とを有している。参照データ12、参照画像13及び実画像15は、X方向(横方向)が512画素、Y方向(縦方向)が512画素の1フレーム分の階調値を各画素毎に256階調で示したデータである。

【0030】

そして、参照画像生成部3は、実画像(被測定パターンの画像)15のエッジ位置をサブ画素の単位で検出するエッジ位置検出手段と、実画像15のパターン幅とこれに対応する位置の参照データ12のパターン幅をそれぞれ算出するパターン幅算出手段とを構成している。

【0031】

次に、図を参照して、本発明の動作について説明する。まず、設計データのデータ構造について説明する。

設計データ入力部1には、MEBESなどのフォーマットで記述された設計デ

ータ 1 1 が入力される（図 2 ステップ 1 0 1）。

【0 0 3 2】

続いて、設計データ展開部 2 は、設計データ入力部 1 から入力された設計データ 1 1 を、実画像 1 5 のパターン座標のアドレスに対応して格子状に配置された各画素上に、配線パターン 2 1 として展開する（図 2 ステップ 1 0 2）。

【0 0 3 3】

図 3 は、展開された配線パターン 2 1 の一部を示す説明図である。図 3 において、格子状に配置された各画素は、設計データ展開部 2 における展開分解能に相当する。

図 3 の例の場合、配線パターン 2 1 のエッジ 2 2 は画素の切れ目になく、例えば画素 2 3 上では、X 方向（横方向）に 3 : 1 の比率位置に展開され、Y 方向（縦方向）に 1 : 1 の比率位置に展開されていることを示している。

【0 0 3 4】

各画素には、多値階調の階調値（濃淡値）を検査分解能より細かな分解能で算出するために、複数のサブ画素が設けられている。このサブ画素の数により、各画素における階調値の精度が決定される。

【0 0 3 5】

例えば、最大階調値を 2 5 5、最小階調値を 0、階調増分値（以下、階調ステップ数と呼ぶ）を 1 としてデータを展開する場合には、1 画素が 1 6 × 1 6 個のサブ画素で構成される。そして、各サブ画素は、「0」または「1」の何れかの値をとる。

【0 0 3 6】

図 4 は、図 3 の画素 2 3 の拡大図である。図 4 に示す例では、画素 2 3 内の 1 6 × 1 6 個のサブ画素のうち、8 × 1 2 個のサブ画素上に配線パターン 2 1 が存在している。

【0 0 3 7】

ここで、配線パターン 2 1 に属するサブ画素を「1」で表し、配線パターン 2 1 に属さないサブ画素を「0」で表した場合、各画素の階調値は、その画素内でパターン 2 1 に属するサブ画素の数、すなわち「1」の数となる。

【0038】

したがって、配線パターン21に属さない画素の階調値は最小階調値MIN=0となり、配線パターン21に属する画素のうちパターンエッジ以外の位置の画素の階調値は最大階調値MAX=255となる。

また、配線パターン21に部分的に属するパターンエッジ位置の画素、例えば画素23の階調値は、 $8 \times 12 = 96$ となる。

【0039】

このようにして、画素内のビット列の面積を積分することにより、図5に示すように、展開された配線パターン21の階調値を、各画素すなわち実画像15のパターン座標のアドレスごとに算出できる。

【0040】

設計データ展開部2は、設計データ11に基づいて各画素上に配線パターン21を展開した後（図2ステップ102）、各画素ごとにビット積分して階調ステップ数の倍数となる階調値を上記のように算出し、これを実画像15に対応する参照データ12として出力する（図2ステップ103）。なお、本実施の形態では、設計データ展開部2で設計データ11を展開しているが、設計データ入力部1に設計データ11を直接入力するのではなく、設計データ11をメモリ展開に最適な中間ファイルに予め変換しておき、この中間ファイルを設計データ11を入力して、中間ファイルを設計データ展開部2で展開するようにしてもよい。

【0041】

次に、参照データ12のパターン幅の算出方法について説明する。この参照データ12のパターン幅の算出は、参照画像生成部3によって行われる（図2ステップ104）。

まず、設計データ11の構造をもとに、参照データ12の画素幅Nstepを以下のように定義する。

画素幅Nstep=白画素の最大階調値MAX/階調ステップ数

・・・(1)

【0042】

式(1)の定義に従うと、画素幅Nstepは階調ステップ数の正数倍であり、階

調ステップ数は最大階調値MAXの公約数であることが必要条件である。

階調ステップ数を1としたとき、前述のように、配線パターン21に属する画素のうちパターンエッジ以外の位置の画素の階調値は最大階調値MAX=255である。よって、この画素内に存在するパターン21の左右方向の幅は、画素幅Nstepとなり、階調ステップ数を1としたとき、階調値255と等しくなる。

【0043】

また、図3において、配線パターン21のパターンエッジ22が内在する画素24の階調値は、 $12 \times 16 = 192$ である。よって、パターンエッジ22から画素24の左端のエッジまでの距離は、式(1)の定義に基づくと、階調ステップ数を1としたとき、 $(12 \times 16) / 1 = 192$ となる。

【0044】

式(1)の定義は、左右方向だけでなく、上下方向にも同様に適用でき、階調ステップ数が1の場合は、常に階調値に等しくなり、計算誤差がもっとも少ない場合となる。

例えば、図6に示すような参照データ（配線パターン21）のパターン幅は、左右のパターンエッジ間の距離であるから、以下のように定義できる。

【0045】

参照データのパターン幅

$$= \{ (\text{左端のパターンエッジ位置の画素の階調値} / \text{階調ステップ数}) \\ + (\text{右端のパターンエッジ位置の画素の階調値} / \text{階調ステップ数}) \\ + \text{左右のパターンエッジ間の完全画素の数} \times \text{Nstep} \} \quad \dots (2)$$

【0046】

式(2)において、完全画素とは、パターン21に属する画素のうちパターンエッジ位置の画素を除く画素を意味する。

このように、画素をマトリクス状に分割するサブ画素を各画素毎に設け、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とし、各画素内に展開されたパターンの幅を合計することにより、参照データ12のパターン幅を算出することができる。

【0047】

次に、光学的走査部4は、フォトマスク等の光透過性の基材上に形成された被検査パターンを所定波長のレーザービームで走査して、前記基材を透過して得られた透過光を対物レンズで受光素子上に結像させ、この受光素子で得られた被検査パターンの像を走査信号14として出力する（図2ステップ105）。

【0048】

続いて、光電画像処理部5は、後述のように、走査信号14として出力された被検査パターンの画像と光学的点拡がり関数との畳み込み演算を施すことにより、多値階調の実画像15を得る（図2ステップ106）。この実画像15は画像メモリ6に格納される。

【0049】

次に、画像メモリ6に格納された実画像15のパターン幅の算出方法について説明する。実画像15においても、階調値と画素幅の定義は参照データ12の場合と同様である。実画像15のパターン幅の算出は、エッジ存在しきい値（エッジ境界条件）の計算、パターンエッジ位置探索、パターン幅計算の各過程によって実現され、図1の参照画像生成部3によって実行される。

【0050】

一般的に、画像処理におけるエッジ位置検出では、ソーベルフィルタ等のオペレータマスク中心と隣接画素間の濃度勾配の最大値集合、あるいはゼロクロス等の2次微分値が0となる画素アドレス集合として画素単位でエッジ位置を抽出する。しかしながら、デジタル化された観測画像のエッジ位置は常に画素の切れ目に存在するとは限らない。特に、レチクル検査装置で検査対象としている256M、1GDRAMマスクの微小パターンの測定では、パターンエッジ位置を1画素以下の精度で検出する必要があるので、従来の画素単位でのエッジ位置検出方法では、パターン幅を精度良く求めるには限界がある。

【0051】

そこで、本発明では、ビームスキャンに相当するマスクオペレータ内の光量変動値からパターンエッジ位置を検出する。パターンエッジ抽出に必要なレーザービーム径が十分小さく、スキャン画像内でのシェーディング誤差（光量変動値の

誤差) が小さい場合、パターンエッジ位置はサブ画素単位の精度で求めることができる。

【0 0 5 2】

図 7 はエッジ存在しきい値の算出方法を示す説明図である。図 7 (a) はマスクオペレータの中心がフォトマスク等の基材上に形成された被検査パターンにかかる直前の状態を示し、図 7 (b) はマスクオペレータの中心が被検査パターンのエッジ位置上にあるときの状態を示し、図 7 (c) はマスクオペレータの中心が被検査パターンのエッジ位置の限界の位置にあるときの状態を示している。7 × 7 の単位格子からなるマスクオペレータは、ビームスキャン位置を示すと共に、光学的点拡がり関数と被検査パターンの画像との畳み込み演算を行う位置を示す。

【0 0 5 3】

ここで、画像メモリ 6 に格納された実画像 1 5 の定式化について説明する。実画像 1 5 の階調値は、装置系の光学的点拡がり関数 $\omega_{[k][j]}$ とフォトマスク等の基材上に形成された被検査パターンの画像 $I_{[x][y]}$ との畳み込み関数として表され、フレーム内アドレス (X, Y) の位置における実画像 1 5 の階調値 $L(X, Y)$ は、図 7 (c) の場合では、以下のように表現される。

【0 0 5 4】

【数 1】

$$L(X, Y) = \left(\sum_{\substack{-3 \leq k \leq 3 \\ -3 \leq j \leq 3}} \omega_{[k][j]} \right) \times I_{[X+k][Y+j]} \quad \dots (3)$$

【0 0 5 5】

光学的点拡がり関数 $\omega_{[k][j]}$ (ただし、 $-3 \leq k \leq 3$ 、 $-3 \leq j \leq 3$) は、画像のぼけを表すコンボリューションフィルタの係数値であり、光学的には、前記マスクオペレータ内におけるレーザービームの強度 (透過光量) をマスクオペレータの単位格子毎に表すものである。

【0 0 5 6】

エッチングが良好な場合、フォトマスク等の基材上に形成された被検査パター

ンは、2 値画像に限りなく近い多値画像であると考えて良い。したがって、ここでは説明を簡単にするために、基材上の無限長の被検査パターンが画素の切れ目に存在し、レーザービームの位置が図 7 (c) にある場合を考える。実画像 1 5 の黒画素（被検査パターンに属さない画素）の階調値を d_min 、白画素（被検査パターンに属する画素）の階調値を d_max とし、式 (3) を変形すると次式のようになる。

【0 0 5 7】

【数 2】

$$\begin{aligned}
 & L(X, Y) \\
 &= \begin{bmatrix} \omega_{[-3][-3]} & \omega_{[-2][-3]} & \omega_{[-1][-3]} \\ \omega_{[-3][-2]} & \omega_{[-2][-2]} & \omega_{[-1][-2]} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega_{[-3][2]} & \omega_{[-2][2]} & \omega_{[-1][2]} \\ \omega_{[3][3]} & \omega_{[2][3]} & \omega_{[1][3]} \end{bmatrix} \times d_min \\
 &+ \begin{bmatrix} \omega_{[0][-3]} & \omega_{[1][-3]} & \omega_{[2][-3]} & \omega_{[3][-3]} \\ \omega_{[0][-2]} & \omega_{[1][-2]} & \omega_{[2][-2]} & \omega_{[3][-2]} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega_{[0][2]} & \omega_{[1][2]} & \omega_{[2][2]} & \omega_{[3][2]} \\ \omega_{[0][3]} & \omega_{[1][3]} & \omega_{[2][3]} & \omega_{[3][3]} \end{bmatrix} \times d_max \\
 &= \left(\sum_{\substack{-3 \leq k \leq -1 \\ -3 \leq j \leq 3}} \omega_{[k][j]} \right) \times d_min + \left(\sum_{\substack{0 \leq k \leq 3 \\ -3 \leq j \leq 3}} \omega_{[k][j]} \right) \times d_max \quad \dots (4)
 \end{aligned}$$

【0 0 5 8】

式 (4) の右辺第 1 項は黒画素領域の階調値を示し、右辺第 2 項は白画素領域の階調値を示す。

7 × 7 の全ての光学的点拡がり関数 $\omega_{[k][j]}$ を合計した総和である全光量値は 1 に正規化されているので、白画素領域に属する光学的点拡がり関数 $\omega_{[k][j]}$ と黒画素領域に属する光学的点拡がり関数 $\omega_{[k][j]}$ とを足した和は、次式のように表される。

【0 0 5 9】

【数 3】

$$\sum_{\omega \in \text{white}} \omega[k][j] + \sum_{\omega \in \text{black}} \omega[k][j] = \sum_{\omega \in \text{all}} \omega[k][j] = 1 \quad \dots (5)$$

【0 0 6 0】

式 (5) において、 $\omega \in \text{white}$ は直上の項が白画素領域に属する光学的点拡がり関数 $\omega[k][j]$ の和であることを示し、 $\omega \in \text{black}$ は直上の項が黒画素領域に属する光学的点拡がり関数 $\omega[k][j]$ の和であることを示し、 $\omega \in \text{all}$ は直上の項が全光量値であることを示している。式 (5) より次式が得られる。

【0 0 6 1】

【数 4】

$$\sum_{\omega \in \text{black}} \omega[k][j] = 1 - \sum_{\omega \in \text{white}} \omega[k][j] \quad \dots (6)$$

【0 0 6 2】

現実のレーザービームスポットは非対称な形状であるが、これを真円に換算したとき、各単位格子ごとの光学的点拡がり関数 $\omega[k][j]$ は、光量値 $W[k][j]$ に換算される。この光量値 $W[k][j]$ と式 (5)、式 (6) より次式を導くことができる。

【0 0 6 3】

【数 5】

$$L(X, Y) = d_{\min} + \frac{\sum_{W \in \text{white}} W[k][j]}{\sum_{W \in \text{all}} W[k][j]} \times (d_{\max} - d_{\min}) \quad \dots (7)$$

【0 0 6 4】

式 (7) において、 $W \in \text{white}$ は直上の項が白画素領域に属する光量値 $W[k][j]$ の和であることを示し、 $W \in \text{all}$ は直上の項が 7×7 の全ての光量値 $W[k][j]$ を合計した総和である全光量値であることを示している。式 (7) は、ビーム移動に伴って変化する、全光量値に対する白画素領域にかかる光量値の比が、エッジプロファイルの傾きを制御していることを示している。

【0 0 6 5】

7×7の光量値テーブルの各要素は、格子分割したときの各単位格子内に占めるビーム形状の面積比（図8）であるから、各単位格子における光量値 $W_{[k][j]}$ とこの単位格子内におけるレーザービームスポットの面積（以下、単位格子内占有面積と呼ぶ） $S_{[k][j]}$ との関係は、次式のように得られる。

【0 0 6 6】

【数6】

$$W_{[k][j]} = 255 \times S_{[k][j]} \quad \dots (8)$$

【0 0 6 7】

なお、レーザービームの単位格子内占有面積 $S_{[k][j]}$ は、ビームスポットを真円に換算したときのものである。この単位格子内占有面積 $S_{[k][j]}$ により、光学的点拡がり関数 $\omega_{[k][j]}$ は、次式のように表すことができる。

【0 0 6 8】

【数7】

$$\omega_{[k][j]} = \frac{\sum_{W \in \text{white}} W_{[k][j]}}{\sum_{W \in \text{all}} W_{[k][j]}} = \frac{255 \times \sum_{S \in \text{white}} S_{[k][j]}}{255 \times \sum_{S \in \text{all}} S_{[k][j]}} \quad \dots (9)$$

【0 0 6 9】

式（9）において、 $S \in \text{white}$ は直上の項が白画素領域に属する単位格子内占有面積 $S_{[k][j]}$ の和であることを示し、 $S \in \text{all}$ は直上の項が全ての単位格子内占有面積 $S_{[k][j]}$ を合計した総和である全ビームスポット面積であることを示している。式（7）、式（9）より、実画像15の階調値 $L(X, Y)$ を、次式のように導くことができる。

【0 0 7 0】

【数 8】

$$L(X, Y) = d_{\min} + \frac{\sum_{S \in \text{white}} S[k][j]}{\sum_{S \in \text{all}} S[k][j]} \times (d_{\max} - d_{\min}) \quad \dots (10)$$

【0 0 7 1】

式 (10) は、レーザービーム位置での階調値を、ビームスポットが占有する面積とビームスポットがフォトマスク上の被検査パターンと重なる領域の面積とから容易に求められることを示している。これは、レーザービームが非対称、任意形状であっても、レーザービーム強度、黒画素の階調値、白画素の階調値が予め求められていれば、フォトマスク上の被検査パターンの局所的な濃度変化に依存せずにエッジプロファイル上の階調値を決定できることを意味する。

【0 0 7 2】

回折の影響が無視できる場合、フォトマスク等の基材上のパターンエッジ位置は透過光量値が 50% 減となる点であるから、レーザービームが遮光領域（被検査パターン）と重なる部分の光量値（ビームスポット面積）の和と全光量値（全ビームスポット面積）との比が 1/2 となる位置をパターンエッジ位置と定義する（図 7 (b)）。

【0 0 7 3】

7×7 の光量値テーブルは、常に半径 R の真円の単位格子占有面積比に換算されるため、1 画素幅に対応する格子区間内の任意の位置のパターンと重なり合うビーム占有面積は解析的に求めることができる。したがって、適切な座標系を設定し、積分の区分値を画素分解能以下にとれば、サブ画素単位でのエッジ位置は容易に求められる。

【0 0 7 4】

次に、参照画像生成部 3 は、パターンエッジ位置に対応する階調値であるエッジ存在しきい値を算出する（図 2 ステップ 107）。観測画像は電子ビーム描画や化学的プロセス等により階調値の変調を受け、さらに光学系、検出系での形状変化、階調値の変化を受ける。したがって、ここで定義される実画像 15 は、7×7 の光学的点拡がり関数と被検査パターンの画像（512×512 画素）との

畳み込み演算がなされた処理画像であるものとする。

【0075】

エッジ存在しきい値の算出は、以下の手順で実施される。まず、図7（a）のようにマスクオペレータの中心がフォトマスク等の基材上に形成された被検査パターンにかかる直前の光量値合計値をWLeft-Low、図7（b）のようにマスクオペレータの中心が被検査パターンのエッジ位置上にあるときの光量値合計値をWOn-Edge、図7（c）のようにマスクオペレータの中心が被検査パターンのエッジ位置の限界の位置にあるときの光量値合計値をWLeft-Highとする。

【0076】

レーザービームスポット径が充分小さい場合、1画素幅内での光強度分布の増減率は画素内位置に対して線形な関係にあるので、図7（a）の状態においてマスクオペレータ中心の階調値となる畳み込み演算値PLeft-Lowは、式（9）より次式で与えられる。

【0077】

【数9】

$$P_{\text{Left-Low}} = d_{\text{min}} + \frac{W_{\text{Left-Low}}}{W_{\text{all}}} (d_{\text{max}} - d_{\text{min}}) \quad \dots (11)$$

【0078】

式（11）において、W_{all}はビームスポットにかかる被検査パターンが存在せず、透過光率が100%の場合の全光量値である。

同様に、マスクオペレータ中心がパターンエッジ位置上にある図7（b）の状態において、マスクオペレータ中心の階調値となる畳み込み演算値POn-Edgeは次式で与えられる。

【0079】

【数10】

$$P_{\text{On-Edge}} = d_{\text{min}} + \frac{W_{\text{On-Edge}}}{W_{\text{all}}} (d_{\text{max}} - d_{\text{min}}) \quad \dots (12)$$

【0080】

ただし、パターンエッジ位置は、透過光率が50%の位置であるから、次式の

関係がある。

【0081】

【数11】

$$W_{On-Edge} = W_{all} / 2 \quad \dots (13)$$

【0082】

パターンエッジが存在し、かつビームスポットと被検査パターンとが最大の重なり範囲となる図7(c)の状態における畳み込み演算値P Left-Highは次式より導くことができる。

【0083】

【数12】

$$P_{Left-High} = d_{min} + \frac{W_{Left-High}}{W_{all}} (d_{max} - d_{min}) \quad \dots (14)$$

【0084】

したがって、パターンエッジが1画素幅以下のサブ画素位置に存在するための条件は、次式となり、エッジ存在しきい値として参照画像生成部3のメモリ内に記憶される。こうして、エッジ存在しきい値P Left-Low, P On-Edge, P Left-Highの算出が終了する。

【0085】

【数13】

$$P_{Left-Low} < P_{On-Edge} < P_{Left-High} \quad \dots (15)$$

【0086】

次に、参照画像生成部3は、このエッジ存在しきい値P Left-Low, P On-Edge, P Left-Highに基づいて、左右のパターンエッジ位置を探索する(図2ステップ108)。まず、左方向のパターンエッジ探索について説明する。図9、図10は、実画像15におけるパターンエッジ探索方法を示す説明図である。図9は、実画像15として画像メモリ6に格納された実パターン31の1例を示し、図10は、実パターン31の左パターンエッジ付近のエッジプロファイルを示して

いる。

【0087】

図9において、1フレーム分の実画像15上の任意の位置の座標を(X, Y)、その位置での実パターン31の階調値をL(X, Y)とする。本実施の形態において、左方向のパターンエッジ探索は、まず画素単位で行う。

【0088】

この画素単位のパターンエッジ探索は、設計データのパターン幅の測定開始位置に対応する、実パターン31上の白画素領域内の探索開始点32からX軸と平行に左方向に移動しながら行われる。このとき、探索開始点32の座標を(XS, const)とする。

【0089】

実画像15には、ショットノイズ、撮像系の影響、パターンエッジの製造上の理由により階調値のばらつきが存在する。

この階調値のばらつきの影響を除くため、探索点(X座標の初期値はXS、Y座標はconst)を中心として、探索方向と垂直な方向(Y方向)に所定の幅を有する仮想スリット33を想定し、この仮想スリット33の範囲を探索点座標(X, const)におけるパターンエッジ探索範囲とする。

【0090】

仮想スリット33の幅は任意の大きさでよいが、図9の例では仮想スリット33の幅を7画素幅としている。

探索点座標(X, const)における階調値L(X, const)は、仮想スリット33を構成する複数画素のうち、階調値が最大の画素と最小の画素を除いた、残りの画素の階調値平均値である。

【0091】

つまり、図9の例の場合、探索点座標(X, const)における階調値L(X, const)は、次式で与えられる。

【0092】

【数 14】

$$L(X, \text{const}) = \left\{ \sum_{-3 \leq i \leq 3} L(X, \text{const} + i) \right\} / 5 \quad \dots (16)$$

【0093】

そして、左側のパターンエッジが存在する画素では、次式が成立する。

【0094】

【数 15】

$$P_{\text{Left-Low}} < L(X, \text{const}) < P_{\text{Left-High}} \quad \dots (17)$$

【0095】

また、前述の完全画素においては、 $L(X, \text{const}) \geq P_{\text{Left-High}}$ が成立する。

したがって、参照画像生成部 3 は、仮想スリット 33 を左方向に画素単位で移動させながら、階調値 $L(X, \text{const})$ を求めて探索点の画素が完全画素かどうかを判断することを画素単位で繰り返す。そして、参照画像生成部 3 は、探索開始点 32 からの画素単位の進み回数、すなわち左パターンエッジ位置の直前までの完全画素数をカウントする。

【0096】

レーザービームスポット径が充分小さく、フォトマスク上に形成された被検査パターンのエッチングが良好な場合には、パターンエッジ位置は ± 1 画素の範囲に収まる。よって、 $L(X, \text{const}) < P_{\text{Left-High}}$ が初めて成立したとき、仮想スリット 33 の中心の探索点は、左パターンエッジを含む画素位置に到達したと判断することができる。

【0097】

このとき、左パターンエッジを含む画素の座標を (X_L, const) とすると、この画素と探索開始点 32 の画素との間のアドレス間距離 $D1$ は、完全画素領域に常に一致する。

図 9 に示す左パターンエッジを含む画素の X 座標 X_L は、 $X_S - D1$ となるの

で、探索開始点 3 2 から左パターンエッジ位置直前までの完全画素領域のパターン長さ NL-Complete は、次式によって得られる。

【0 0 9 8】

【数 1 6】

$$NL-Complete = (X_S - D_1) \times N_{step} \quad \dots (18)$$

【0 0 9 9】

次に、参照画像生成部 3 は、サブ画素単位のパターンエッジ探索を行う。分解能が充分小さい場合、1 画素以内の光量値積分値は図 1 0 に示すように線形に遷移するので、左パターンエッジを含む画素とこの画素に隣接する完全画素との境界から左パターンエッジまでのサブ画素単位の距離 N Left-Sub は、次式のように記述できる。

【0 1 0 0】

【数 1 7】

$$N_{Left-Sub} = \begin{cases} N_{step} - \frac{P_{Left-High} - P_{Left-Low}}{P_{On-Edge} - P_{Left-Low}} \times N_{step} \\ (P_{Left-Low} < L(X, const) < P_{Left-High} \text{ の場合}) \\ 0 \\ (L(X, const) - P_{Left-Low} < 0 \text{ の場合}) \end{cases} \quad \dots (19)$$

【0 1 0 1】

したがって、探索開始点 3 2 から左パターンエッジまでの距離 LENGTHS-L は、式 (18)、式 (19) より次式のように得られる。

【0 1 0 2】

【数 1 8】

$$LENGTHS-L = N_{Left-Sub} + NL-Complete \quad \dots (20)$$

【0 1 0 3】

次に、参照画像生成部 3 は、上記左方向と同様に仮想スリット 3 3 を用いて、探索開始点 3 2 から右方向に向かって右パターンエッジ探索を画素単位で行う。

ここで、右パターンエッジが存在する画素では、次式が成立する。

【0 1 0 4】

【数 1 9】

$$P_{Right-Low} < L(X, const) < P_{Right-High} \quad \dots (21)$$

【0 1 0 5】

式 (21) において、 $P_{Right-Low}$ はマスクオペレータ中心が被検査パターンにかかる直前の位置にあるときのマスクオペレータ中心の階調値となる畳み込み演算値、 $P_{Right-High}$ はマスクオペレータ中心がパターンエッジ位置の限界の位置にあるときの畳み込み演算値である。なお、ここでのマスクオペレータ中心と被検査パターンとの関係は、図 7 の左右を反転させたものとなる。

【0 1 0 6】

また、完全画素においては $L(X, const) \geq P_{Right-High}$ が成立する。したがって、参照画像生成部 3 は、仮想スリット 3 3 を右方向に画素単位で移動させながら、階調値 $L(X, const)$ を求めて探索点の画素が完全画素か否かを判断することを画素単位で繰り返す。そして、参照画像生成部 3 は、右パターンエッジ位置の直前までの完全画素数をカウントする。

【0 1 0 7】

そして、参照画像生成部 3 は、 $L(X, const) < P_{Right-High}$ が初めて成立したとき、仮想スリット 3 3 の中心の探索点が、右パターンエッジを含む画素位置に到達したと判断する。

【0 1 0 8】

このとき、右パターンエッジを含む画素の座標を $(X_R, const)$ とすると、この画素と探索開始点 3 2 の画素との間のアドレス間距離 D_2 は、完全画素領域に常に一致する。

【0 1 0 9】

図 9 に示す右パターンエッジを含む画素の X 座標 X_R は、 $X_S + D_2$ となるので、探索開始点 3 2 から右パターンエッジ位置直前までの完全画素領域のパターン長さ $NR-Complete$ は、次式によって得られる。

【0 1 1 0】

【数 2 0】

$$N_{R-Complete} = (X_S + D_2) \times N_{step} \quad \dots (22)$$

【0 1 1 1】

次に、参照画像生成部 3 は、上記左方向と同様にサブ画素単位のパターンエッジ探索を行う。右パターンエッジを含む画素とこの画素に隣接する完全画素との境界から右パターンエッジまでのサブ画素単位の距離 $N_{Right-Sub}$ は、次式のよう

【0 1 1 2】

【数 2 1】

$$N_{Right-Sub} = \begin{cases} \frac{P_{Right-High} - P_{Right-Low}}{P_{On-Edge} - P_{Right-Low}} \times N_{step} \\ (L(X_R, const) < P_{Right-Low} \text{ の場合}) \\ 0 \\ (P_{Right-Low} < L(X_R, const) < P_{Right-High} \text{ の場合}) \end{cases} \quad \dots (23)$$

【0 1 1 3】

よって、探索開始点 3 2 から右パターンエッジまでの距離 $LENGTHS-R$ は、式 (22)、式 (23) より次式のように得られる。

【0 1 1 4】

【数 2 2】

$$LENGTHS-R = N_{Right-Sub} + N_{R-Complete} \quad \dots (24)$$

【0 1 1 5】

以上の計算から、左右パターンエッジ間の距離である実パターン幅 $LL-R$ は、探索開始点の長さを加えて、次式のように得られる。

【0 1 1 6】

【数 2 3】

$$L L - R = (N_{Left - Sub} + N_{L - Complete}) + (N_{Right - Sub} + N_{R - Complete}) + 1$$

$$\dots (25)$$

【0 1 1 7】

こうして、実画像 1 5 のパターン幅を算出することができる（図 2 ステップ 1 0 9）。

次に、参照画像生成部 3 は、参照データ 1 2 のリサイズ幅（パターン修正幅） Δd （ Δd は正数値又は負数値）を算出する（図 2 ステップ 1 1 0）。

【0 1 1 8】

参照データ 1 2 の左パターンエッジと右パターンエッジのそれぞれについて均等にパターン幅修正を行えばよいので、参照データ 1 2 のリサイズ幅 Δd は、式（2 5）より次式のように得られる。

$$\Delta d = (\text{実画像のパターン幅} - \text{参照データのパターン幅}) / 2$$

$$\dots (26)$$

【0 1 1 9】

式（2 6）は、階調ステップ数が 1 のとき、1 画素幅 N_{step} を 2 5 5 等分したサブ画素単位でのリサイズ幅を示し、2 5 5 の公約数となる階調ステップ数の 1 画素幅での回数値に基づく分解能で参照データ 1 2 のリサイズ幅であることを示している。

【0 1 2 0】

以上のようにして、参照画像生成部 3 は、画素単位およびサブ画素単位でパターン幅のリサイズ幅 Δd を求め、設計データ展開部 2 から入力された参照データ 1 2 中の各配線パターンのエッジ位置をリサイズ幅 Δd に応じてサブ画素単位で移動修正した後、このパターン幅修正を行った参照データ 1 2 と光学的点拡がり関数との畳み込み演算を行って、実画像 1 5 に近い参照画像 1 3 を作成する（図 2 ステップ 1 1 1）。この参照画像 1 3 は画像メモリ 6 に格納される。

【0 1 2 1】

データ比較部 7 は、画像メモリ 6 に格納された参照画像 1 3 と実画像 1 5 とを

比較することにより、被検査パターンが、設計データから作成した理想的なパターンの寸法、形状に基づいて正確に描かれているか否かを検査する（図 2 ステップ 1 1 2）。

【0 1 2 2】

次に、具体的な検査パターンで説明を行う。

図 1 1 は、設計データ展開部 2 によって展開された直後の参照データ 1 2 の階調分布を示す説明図である。図 1 1 は、X 座標が 1 8 2～2 0 2、Y 座標が 6 0～8 0 の領域における各画素の階調値を示しており、適切な分解能で展開された例を示している。

【0 1 2 3】

図 1 1 に示す配線パターンは、X 座標が 1 8 8～1 9 4 の領域に存在し、パターンエッジが画素と画素の境目でなく、画素中に存在するパターン例である。

階調ステップ数を 1 とすると、図 1 1 に示す参照データ 1 2 のパターン幅は、式（2）より 1 5 8 7 となる。

【0 1 2 4】

図 1 2 は、実画像 1 5 において図 1 1 の参照データ 1 2 に対応する位置にある実パターンの階調分布を示す説明図である。図 1 2 に示す実パターンは、X 座標が 1 7 5～1 8 3 の領域に存在している。図 1 2 に示す実パターンのパターン幅は、式（2 5）より 1 7 5 7 と算出される。

【0 1 2 5】

したがって、参照データ 1 2 のエッジ位置を実パターンのエッジ位置に合わせるためのリサイズ幅 Δd は、式（2 6）より、 $(1 7 5 7 - 1 5 8 7) / 2 = 7 8. 5$ となる。最終的なリサイズ幅 Δd は、この値を越えない最大整数であるから、参照データ 1 2 の拡大幅は 7 8 となる。

【0 1 2 6】

図 1 3 は、図 1 1 に示す参照データ 1 2 のエッジ位置を修正した結果を示す説明図であり、図 1 4 は、 7×7 の光学的点拡がり関数を示す説明図、図 1 5 は、図 1 4 の光学的点拡がり関数と図 1 3 のリサイズされた参照データ 1 2 との畳み込み演算を行い、実画像 1 5 との位置合わせを行ったときの参照画像 1 3 の階調

分布を示す説明図である。

【0 1 2 7】

図 1 5 に示す適切にリサイズされて得られた参照画像 1 3 の階調分布は、図 1 2 に示す実パターンの階調分布に極めて近いことが分かる。

また、図 1 6 は、図 1 2 に示す実画像と図 1 5 に示す参照画像との差を対応する画素ごとに求めたものである。図 1 6 から明らかなように、実画像と参照画像の階調差はほぼ 3 0 階調以内であり、0. 1 画素の精度での参照画像が作成されていることが分かる。

図 1 7 は、参照画像と実画像のエッジプロファイルであり、両者のエッジ分布は極めて類似していることが分かる。

【0 1 2 8】

〔実施の形態の 2〕

実施の形態の 1 におけるパターン検査装置のうち、設計データ入力部 1、設計データ展開部 2、参照画像生成部 3、光電画像処理部 5、画像メモリ 6 及びデータ比較部 7 はコンピュータで実現することができる。本発明の参照画像作成方法を実現させるためのプログラムは、フロッピーディスク、CD-ROM、メモリカード等の記録媒体に記録された状態で提供される。

【0 1 2 9】

この記録媒体をコンピュータの補助記憶装置に挿入すると、媒体に記録されたプログラムが読み取られる。そして、コンピュータの CPU は、読み込んだプログラムを RAM あるいは大容量の記憶装置に書き込み、このプログラムに従って図 2 で説明したような処理を実行する。こうして、実施の形態の 1 と同様の動作を実現することができる。このように、参照画像作成プログラムを記録媒体に記録された状態で提供することにより、実施の形態の 1 のパターン検査装置の動作をコンピュータで実現することができ、汎用性を向上させることができる。

【0 1 3 0】

〔発明の効果〕

本発明によれば、レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と被測定パターンの画像との畳み込み演算により、パターンエッジ位置に対応する階調

値を示すエッジ境界条件を求め、このエッジ境界条件に基づいて被測定パターンのエッジ位置を検出することにより、被検査パターンのエッジ位置をサブ画素単位の精度で従来よりも高速に検出することができる。

【0 1 3 1】

また、画素をマトリクス状に分割するサブ画素を各画素毎に設け、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅とし、各画素内に展開されたパターンの幅を合計することにより、被測定パターンのパターン幅とこれに対応する位置の参照データのパターン幅をサブ画素単位の精度で正確に算出することができる。

【0 1 3 2】

また、被測定パターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された被測定パターンのパターン幅として、被測定パターンのパターン幅を算出すると共に、参照データのパターンに属するサブ画素数から各画素の階調値を算出し、この階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開された参照データのパターン幅として、参照データのパターン幅を算出し、被測定パターンのパターン幅と参照データのパターン幅との差から参照データのパターン修正幅を算出することにより、参照データのパターン修正幅（リサイズ幅）を高精度に算出でき、参照画像をサブ画素単位の精度で生成することができる。また、サブ画素単位のパターンエッジ位置検出と、サブ画素単位の参照画像生成により、パターンの角やパターンエッジが画素の切れ目ではなく画素内に存在していても、被測定パターンのエッジ位置と参照データのパターン修正幅を高精度に算出することができ、被検査パターンの画像に近い参照画像をサブ画素単位の精度で高精度に作成できるので、検査感度の大幅な向上が可能である。

【0 1 3 3】

また、参照画像作成プログラムを記録媒体に記録された状態で提供することにより、パターン検査装置の動作をコンピュータで実現することができ、汎用性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施の形態となるパターン検査装置のブロック図である。

【図 2】 図 1 のパターン検査装置の動作を説明するためのフローチャート図である。

【図 3】 設計データ展開部によって展開された配線パターンの一部を示す説明図である。

【図 4】 図 3 の 1 画素の拡大図である。

【図 5】 図 3 の配線パターンにおける各画素の階調値を示す説明図である。

【図 6】 参照データのパターン幅の算出方法を説明するための説明図である。

【図 7】 エッジ存在しきい値の算出方法を説明するための説明図である。

【図 8】 レーザービームスポットの単位格子内占有面積を説明するための説明図である。

【図 9】 実画像における画素単位のパターンエッジ探索方法を示す説明図である。

【図 10】 実画像におけるサブ画素単位のパターンエッジ探索方法を示す他の説明図である。

【図 11】 設計データ展開部によって展開された直後の参照データの階調分布を示す説明図である。

【図 12】 図 11 の参照データに対応する位置にある実パターンの階調分布を示す説明図である。

【図 13】 図 11 の参照データのエッジ位置を修正した結果を示す説明図である。

【図 14】 7×7 の光学的点拡がり関数を示す説明図である。

【図 15】 図 14 の光学的点拡がり関数と図 13 のリサイズされた参照データとの畳み込み演算を行い、実画像との位置合わせを行ったときの参照画像の階調分布を示す説明図である。

【図 1 6】 図 1 2 の実画像と図 1 5 の参照画像との差の階調分布を示す説明図である。

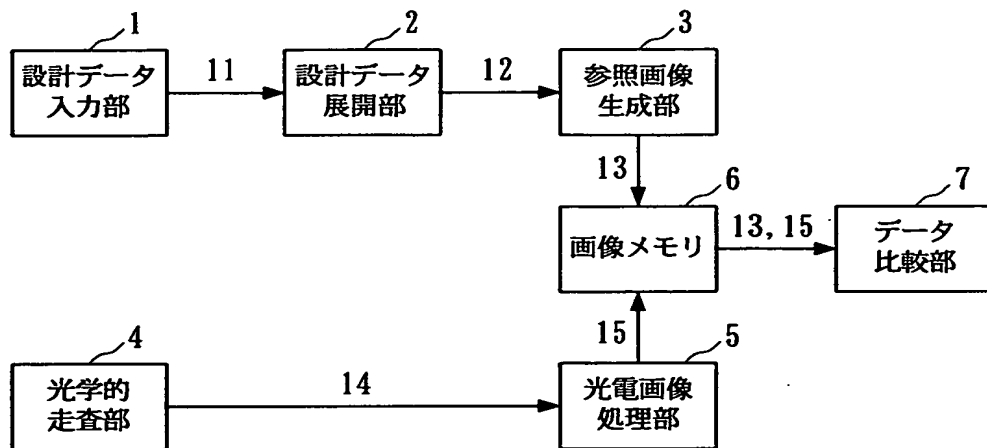
【図 1 7】 参照画像と実画像のエッジプロファイルを示す説明図である。

【符号の説明】

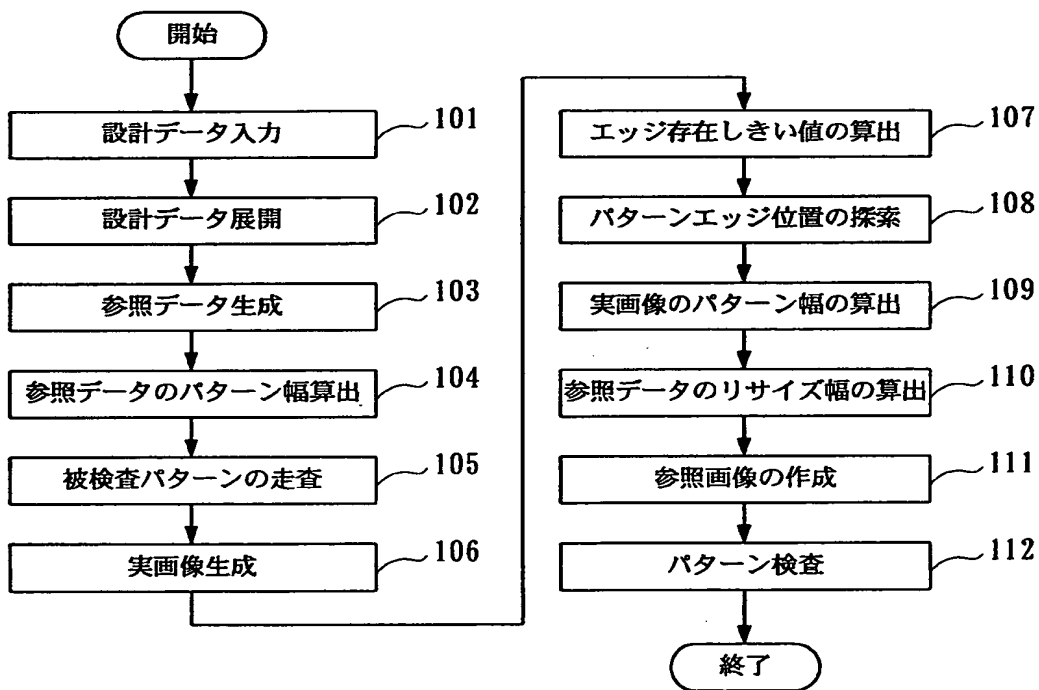
1 …設計データ入力部、2 …設計データ展開部、3 …参照画像生成部、4 …光学的走査部、5 …光電画像処理部、6 …画像メモリ、7 …データ比較部、1 1 …設計データ、1 2 …参照データ、1 3 …参照画像、1 4 …走査信号、1 5 …実画像。

【書類名】 図面

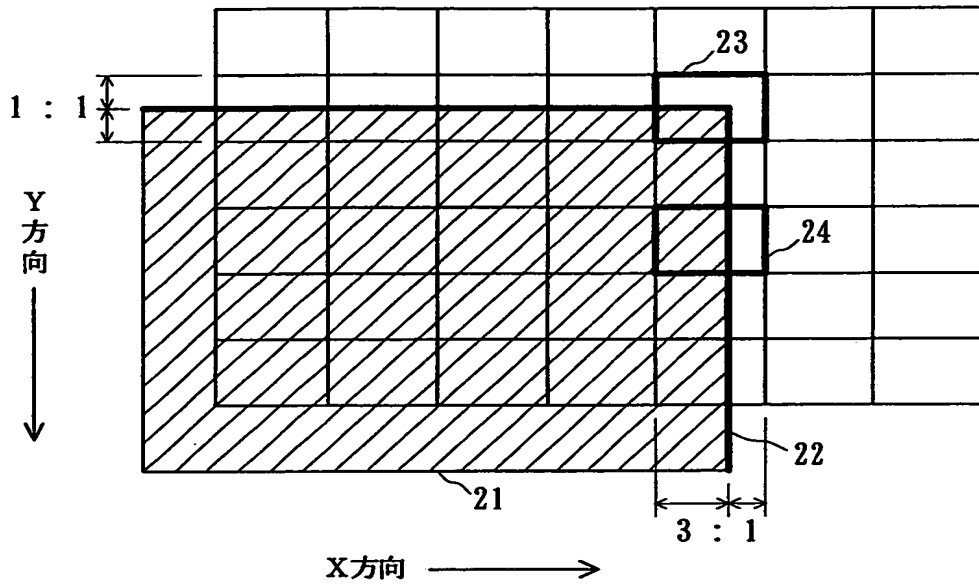
【図 1】



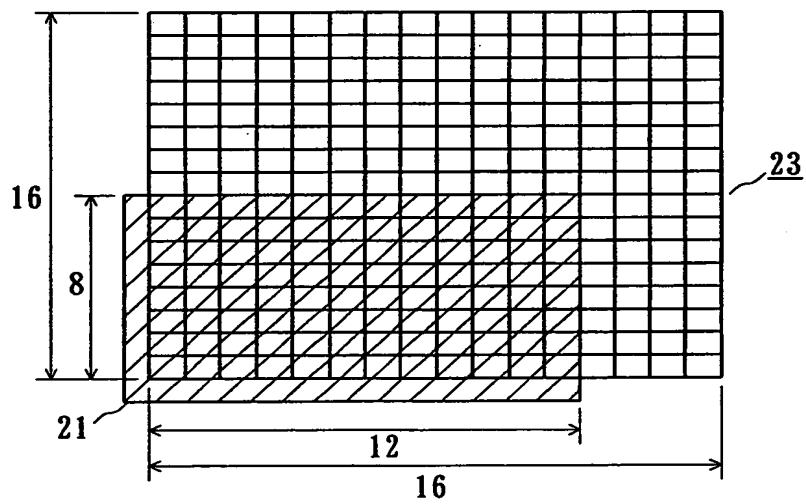
【図 2】



【図 3】



【図 4】

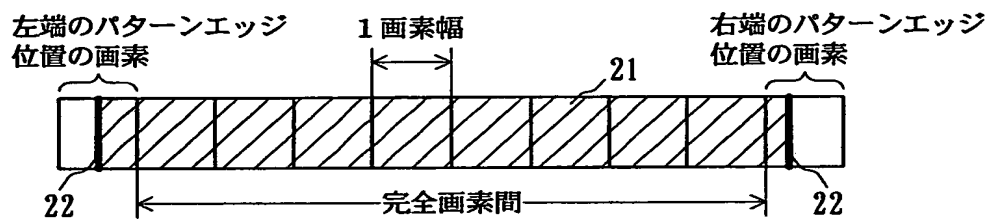


【図 5】

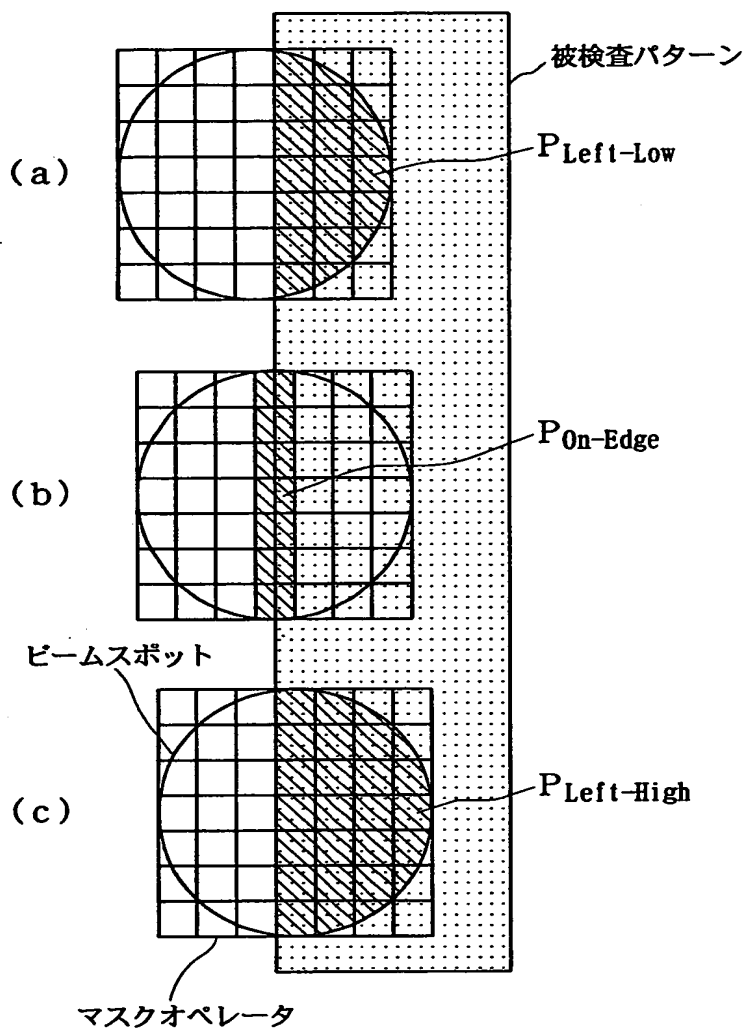
0	0	0	0	0	0	0
128	128	128	128	96	0	0
255	255	255	255	192	0	0
255	255	255	255	192	0	0
255	255	255	255	192	0	0
255	255	255	255	192	0	0

22

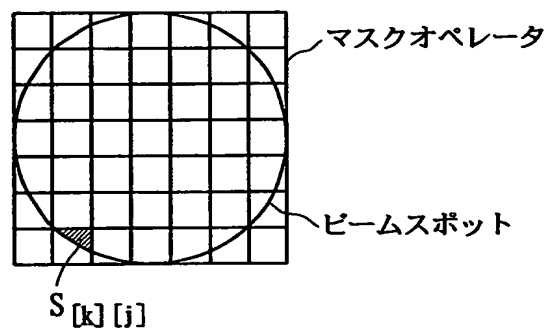
【図 6】



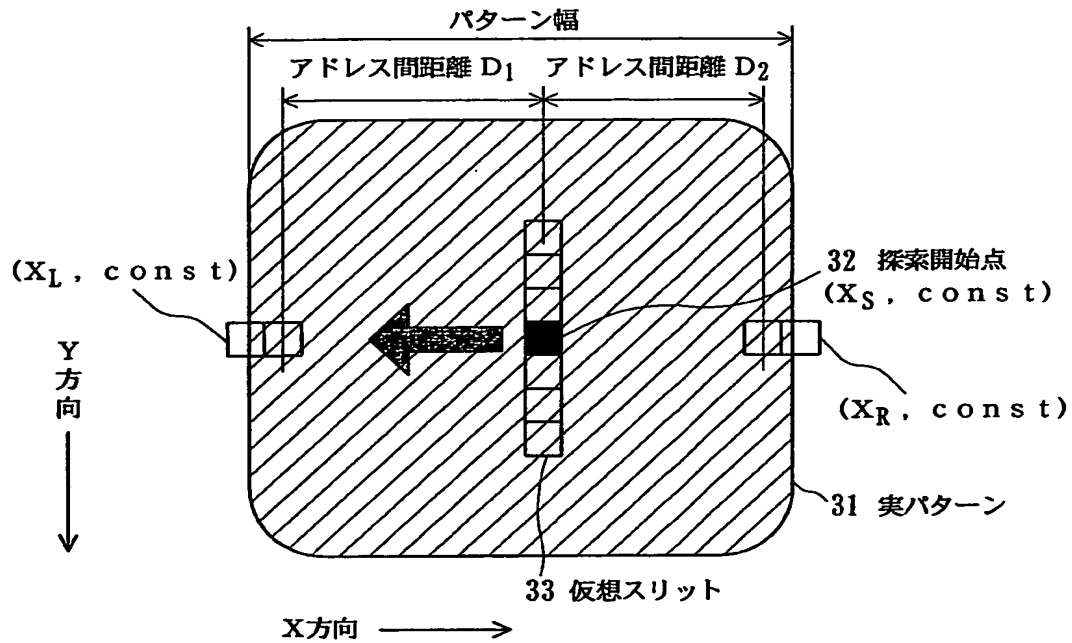
【図 7】



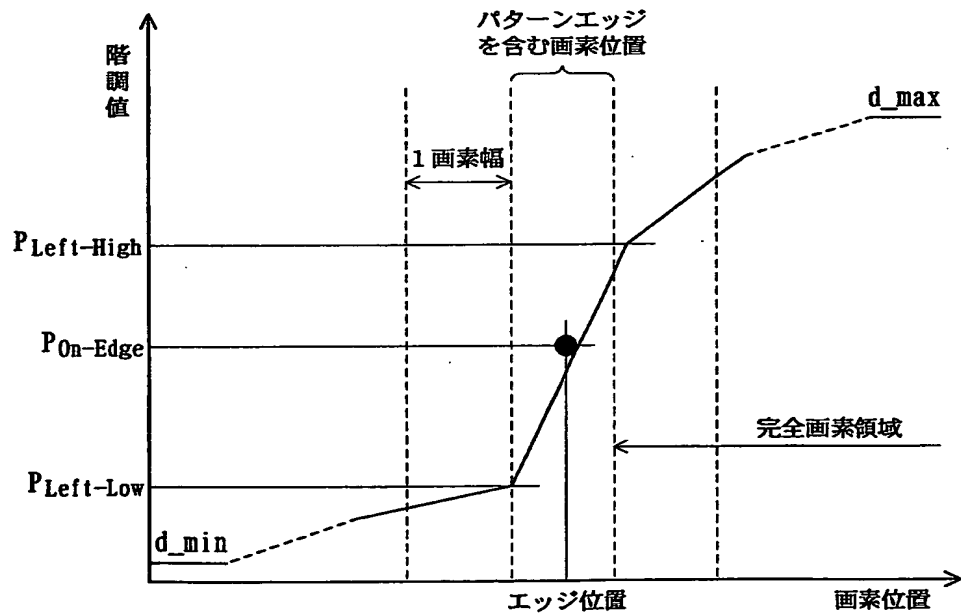
【図 8】



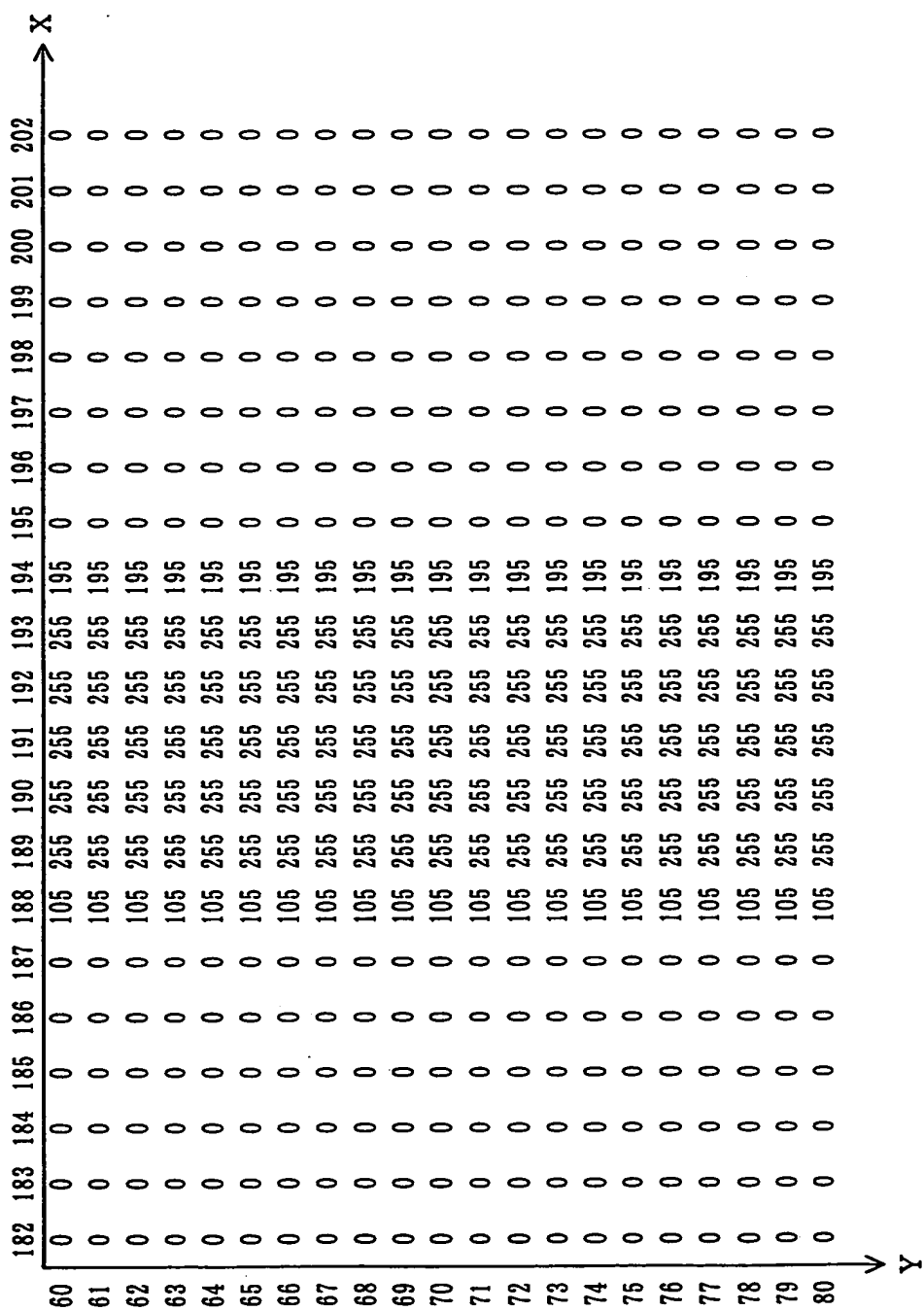
【図 9】



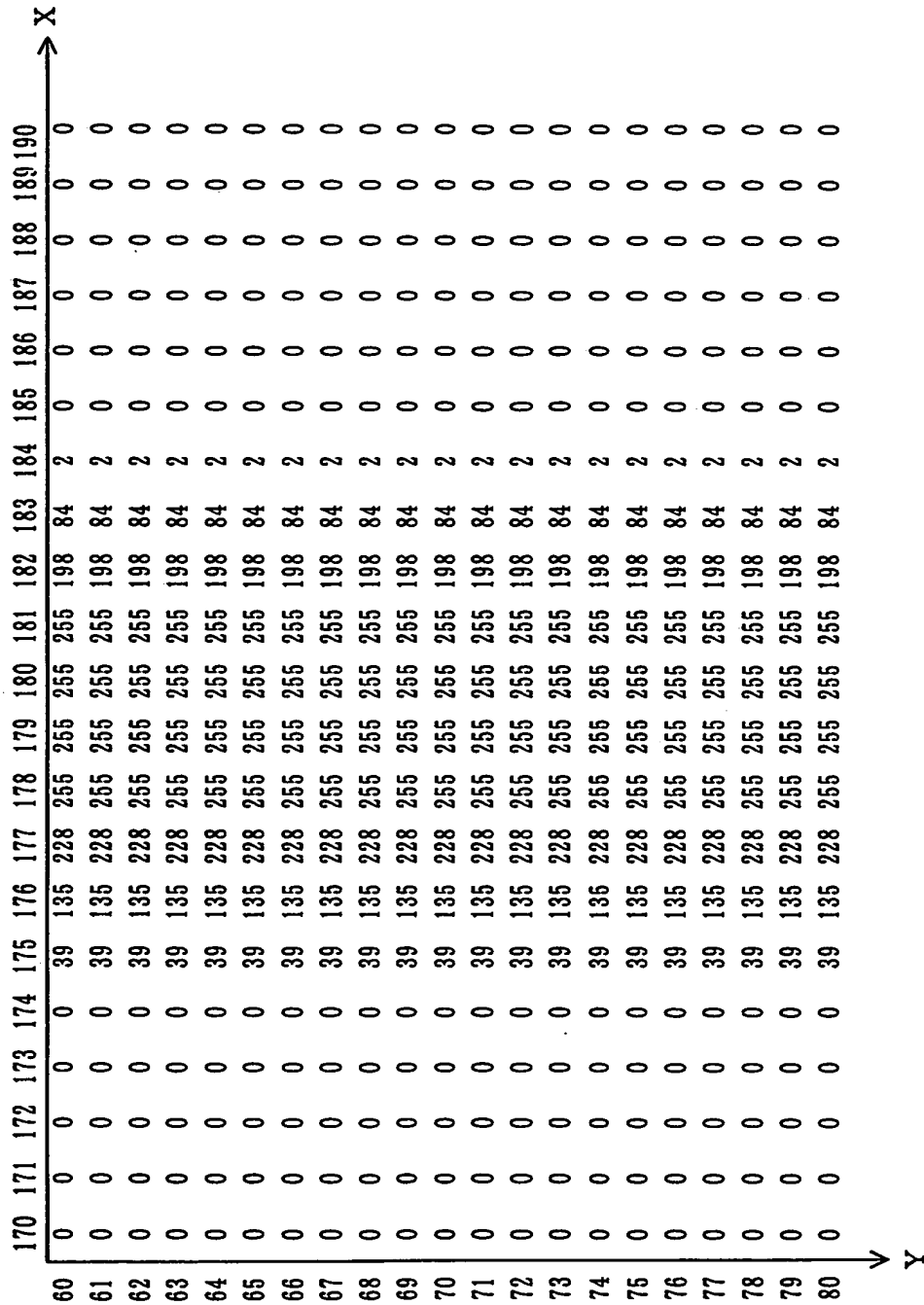
【図 10】



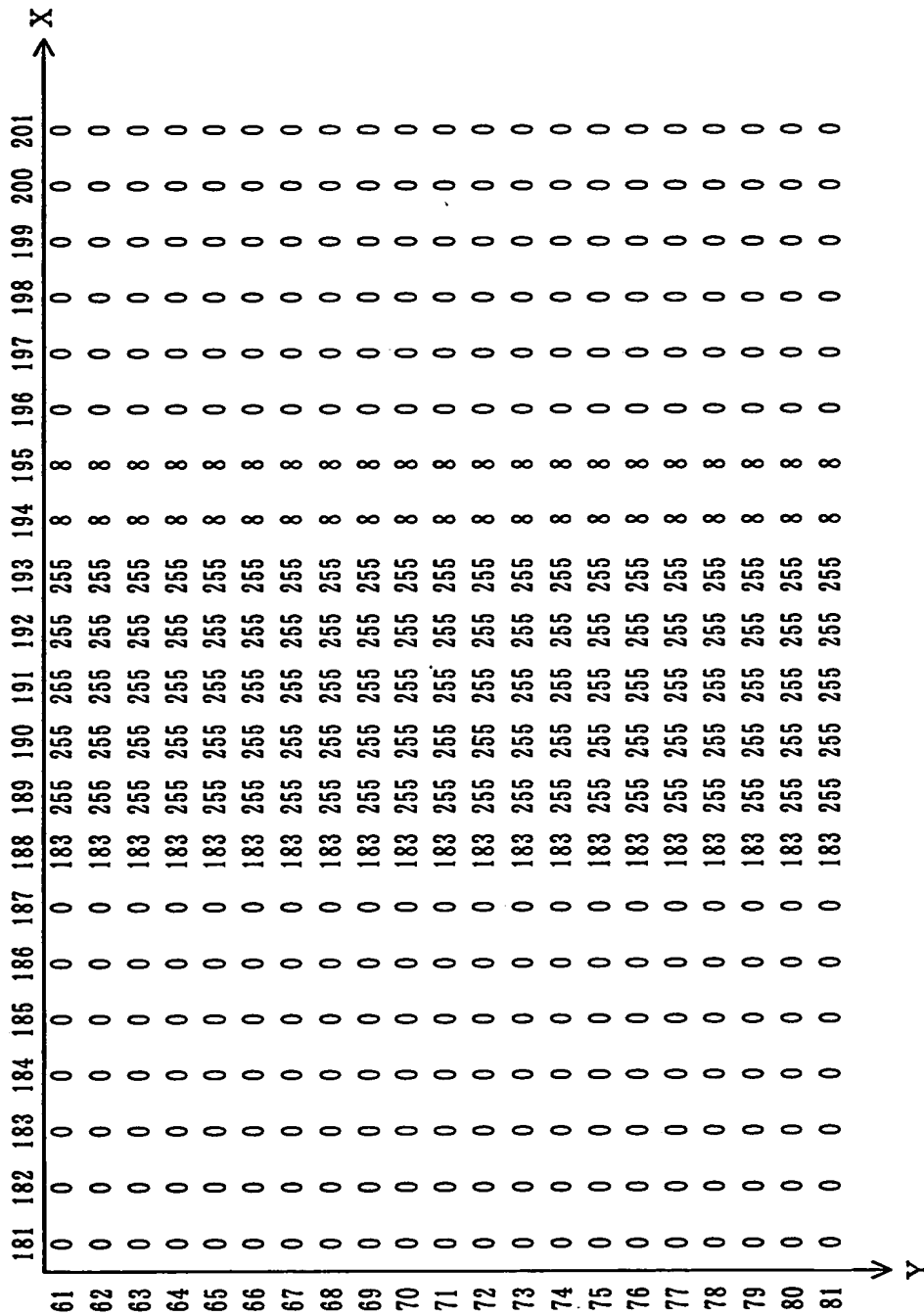
【図 1 1】



【図 1 2】



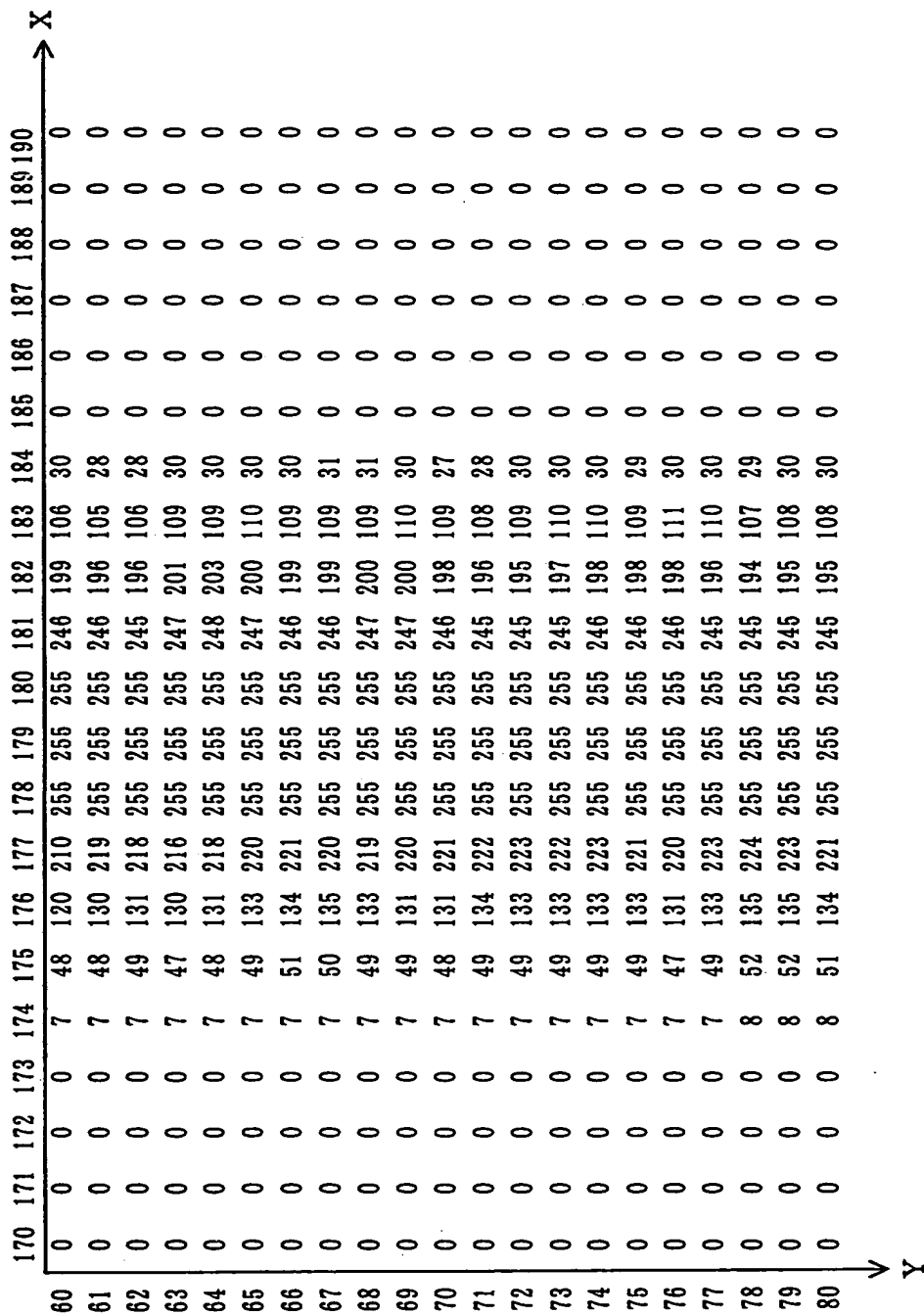
【図 1 3】



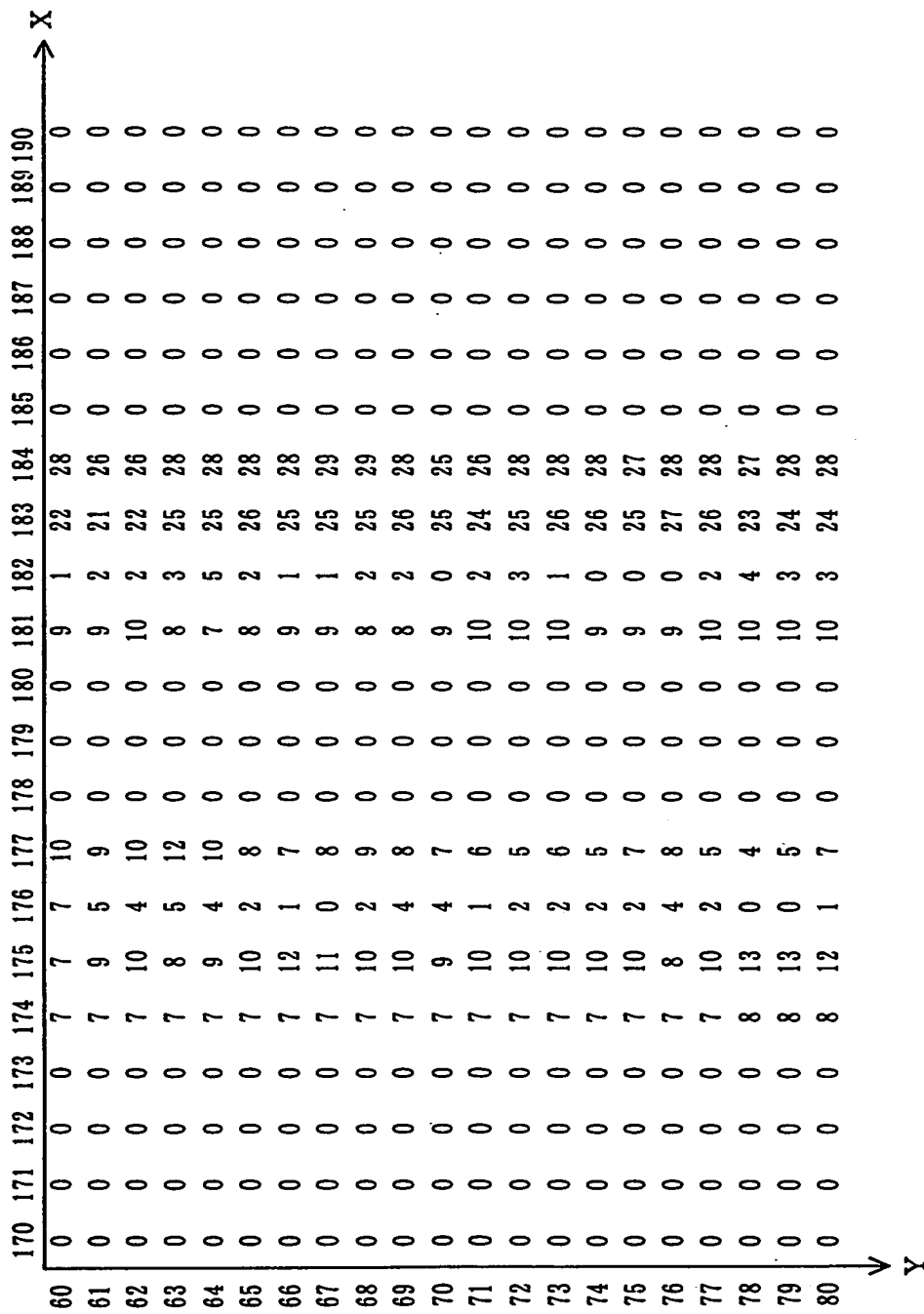
【図 1 4】

0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
0,	0,	28,	118,	15,	0,	0,
0,	0,	198,	255,	144,	0,	0,
0,	0,	254,	255,	188,	0,	0,
0,	0,	198,	255,	144,	0,	0,
0,	0,	28,	118,	15,	0,	0,
0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,

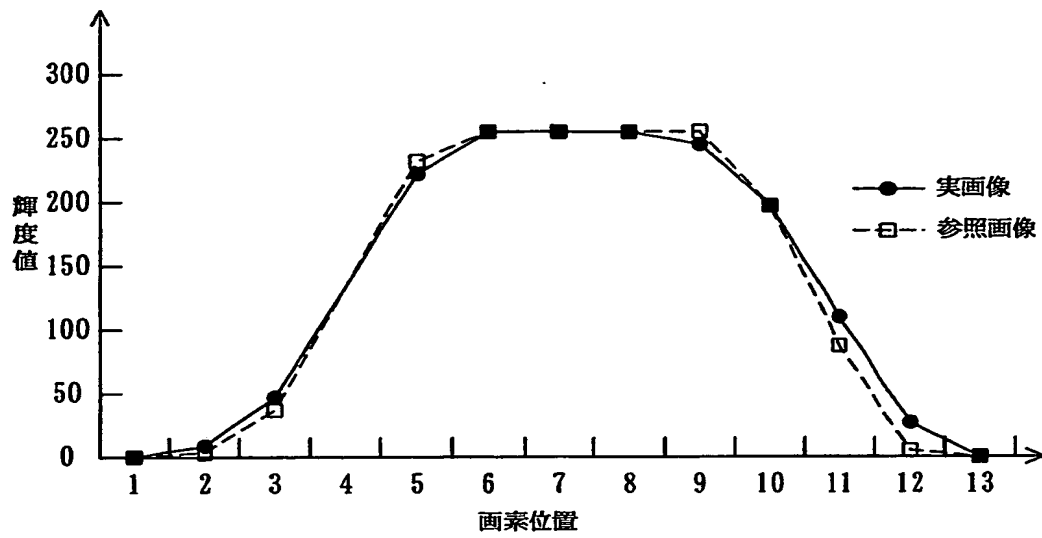
【図 1 5】



【図 1 6】



【図 1 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 被検査パターンのエッジ位置を高速に検出し、被検査パターンのパターン幅と参照データのパターン修正幅を正確に求める。

【解決手段】 光学的走査部 4 は被検査パターンをレーザービームで走査し、光電画像処理部 5 は被検査パターンの画像を生成する。参照画像生成部 3 は、レーザービームの強度に相当する光学的点拡がり関数と被測定パターンの画像との畳み込み演算により、エッジ境界条件を求め、エッジ位置を検出する。参照画像生成部 3 は、各画素内に展開されたパターンに属するサブ画素数に基づいて各画素の階調値を算出し、階調値を階調ステップ数で割った回数値をその画素内に展開されたパターンの幅として、被測定パターンと参照データのパターン幅を算出する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名	日本電気株式会社